PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

No. 13. 29. Dezember 1900. 2. Jahrgang.

INHALT.

Originalmitteilungen:
C. H. Wind, Zur Anwendung der Fourierschen Reihenentwickelung in der Optik. S. 189.

Vorträge und Reden:
H. Poincaré, Über die Beziehungen zwischen der experimentellen und der mathematischen Physik. (Schluss.) S. 196.

Referate:
Der Schnellschreibtelegraph von Pollak-Virág. S. 201.

Personalien. S. 204.

ORIGINALMITTEILUNGEN.

Zur Anwendung der Fourierschen Reihenentwickelung in der Optik.

Von C. H. Wind.

1. Einleitung.

Während die Versuche von Haga und mir über die Beugung der Röntgenstrahlen[1]) im Gange waren, glaubten noch manche, diese Strahlen für Ströme fortgeschleuderter Partikelchen halten zu dürfen. Einige Gelehrte, u. a. E. Wiechert, G. Stokes und J. J. Thomson, hatten aber auch schon eine andere Meinung geäussert, welche der Hauptsache nach auf das Folgende hinauskommt. Es sollen die Strahlen herrühren von der im Äther vor sich gehenden Ausbreitung gewisser unregelmässiger elektromagnetischer Stösse, welche an der Antikathode erregt werden durch den Anprall, d. h. die plötzliche Bewegungshemmung, der geladenen Teilchen oder Elektronen, welche die Kathodenstrahlen bilden. Lord Rayleigh[2]) hatte, sich auch dieser Meinung anschliessend, unter Hinweis auf die Fouriersche Reihenentwickelung gesagt, es müsste dann jedenfalls diese Strahlung eine von sehr geringer Wellenlänge sein, ohne jedoch diese Behauptung ausführlich zu begründen, und G. Johnstone Stoney[3]) endlich versucht, letztere Lücke auszufüllen, jedoch nur in einer bestimmten Richtung und nicht mit der meiner Ansicht nach erwünschten Vollständigkeit.

Als dann die Versuche von Haga und mir eine Art von Beugungserscheinungen ergeben hatten, und wir aus denselben zu den bekannten kleinen Wellenlängen $\left(\frac{1}{4} \text{ bis } \frac{1}{100} \mu\mu\right)$ geschlossen hatten, habe ich in einer besonderen Note[4]) hervorgehoben und in Kürze nachzuweisen versucht, dass die gefundenen kleinen Wellenlängen nicht unbedingt zu deuten sind als ein Nachweis, dass in der Quelle gewisse regelmässig periodische Vorgänge von den entsprechenden kleinen Perioden stattfinden, sondern dass sie auch ganz gut verträglich sind u. a. mit der Hypothese der unregelmässigen Stösse.

Nachher wurde mir durch eine in dieser Zeitschrift erschienene Arbeit von A. Sommerfeld[1]) klar, dass meine ebengenannte Notiz, ihrer Kürze zufolge, leicht missverstanden werden konnte, und schien mir daher eine etwas ausführlichere Publikation der von mir über den Gegenstand angestellten Betrachtungen nicht ohne Nutzen zu sein.

Bei diesen Betrachtungen, welche sich in erster Linie auf die Anwendung der Fourierschen Reihenentwickelung auf optische Probleme bezogen haben, bin ich zu einigen Bemerkungen über diese Rechnungsmethode geführt worden, deren wesentlicher Inhalt — obgleich grösstenteils auch schon in Abhandlungen von Gouy[2]), Lord Rayleigh[3]), Schuster[4]), Michelson[5]) u. a. enthalten — nicht so allgemein bekannt sein dürfte[6]), dass nicht der Versuch mir berechtigt erschiene, an dieser Stelle noch einmal die Aufmerksamkeit eines grössern Leserkreises auf denselben hinzulenken.

2. Die Zerlegung der Erregungsfunktion mittels der Fourierschen Reihe.

Es mögen an irgend einem Punkte Q beliebige Gleichgewichtsstörungen stattfinden und diese einen Störungsvorgang mit Lichtgeschwindigkeit in den umgebenden Äther hinaussenden, welcher dabei eventuell einen Brechungs-, Interferenz- oder Beugungsapparat zu durchsetzen hat. Welches die Natur der Erregung ist, ob wir dabei an die Verschiebung eines Elektrons, an eine elektrische Schwingung in einem ele-

1) H. Haga und C. H. Wind, Wied. Ann. **68**, 884, 1899.
2) Lord Rayleigh, Nature **57**, 607, 1898.
3) G. Johnstone Stoney, Phil. Mag. (5) **45**, 532 u. **46**, 253, 1898.
4) C. H. Wind, Wied. Ann. **68**, 895 u. **69**, 327, 1899.

1) A. Sommerfeld, Diese Zeitschr. **1**, 105, 1900.
2) Gouy, Journ. de Phys. (2) **5**, 354, 1886; vergl. auch Compt. Rend. **120**, 945, 1895 u. **130**, 241, 1900.
3) Lord Rayleigh, Phil. Mag. (5) **27**, 298 u. 460, 1889.
4) A. Schuster, Phil. Mag. (5) **37**, 509, 1894; vergl. auch Compt. Rend. **120**, 987, 1895.
5) A. A. Michelson, Astrophys. Journ. **2**, 251, 1895.
6) Vergl. u. A. Poincaré, Compt. Rend. **120**, 757, 1895; Fabry, ibid. **130**, 238, 1900; Carvallo, ibid. **130**, 259, 1900.

mentaren Vibrator oder an die Verschiebung eines Elementes in einem elastischen Medium zu denken haben, wollen wir hier ganz dahingestellt sein lassen. Nur setzen wir voraus, dass der Verlauf der Erregung vollständig charakterisiert werden kann durch eine bestimmte Vektorgrösse, und wollen wir uns dann weiter in unseren Auseinandersetzungen auf eine Erregung beschränken, bei der nur eine Komponente dieser Vektorgrösse sich ändert, indem wir einen Störungsvorgang, welcher durch eine Erregung allgemeinerer Art ausgesandt werden würde, als eine einfache Superposition von den einzelnen Komponenten der Erregung entsprechenden Störungsvorgängen auffassen wollen. Diese Auffassung ist gewiss erlaubt, wenn die Zustandsgrössen, durch welche wir in der Quelle, wie in dem Äther, den Vorgang zu charakterisieren vermögen, immer nur homogenen linearen Differentialgleichungen zu genügen haben[1]).

Es sei denn die Zustandsgrösse, durch deren Verlauf wir uns denjenigen der Erregung in Q gegeben denken, durch $f(t)$ angedeutet und vorläufig bloss während eines Zeitintervalles von der Dauer T, zur Zeit $t=0$ anfangend, betrachtet. Nach Fourier gilt für dieses Zeitintervall die Gleichung

$$1)\quad f(t)=Q+\sum_{n=1}^{n=\infty}\left(A_n \sin n\frac{2\pi t}{T}+B_n \cos n\frac{2\pi t}{T}\right),$$

$$2)\quad Q=\frac{1}{T}\int_0^T f(t)\,dt,$$

$$3)\quad A_n=\frac{2}{T}\int_0^T f(t)\sin n\frac{2\pi t}{T}\,dt,$$

$$4)\quad B_n=\frac{2}{T}\int_0^T f(t)\cos n\frac{2\pi t}{T}\,dt.$$

Soweit es gestattet ist vorauszusetzen, dass in dem betrachteten Zeitintervall positive und negative Werte von $f(t)$ nahe gleichviel vorkommen, dürfen wir das konstante Glied Q in 1) vernachlässigen und erhalten wir dann für $f(t)$ eine Summe von harmonischen Gliedern. Jene Voraussetzung trifft aber nicht immer zu, z. B. nicht in dem Falle einer Gleichgewichtsstörung, welche besteht in einem einzigen, innerhalb des Zeitintervalles 0 bis T stattfindenden Impulse, von der von Hrn. Sommerfeld in seiner zitierten Mitteilung diskutierten Art, weil dieser Impuls nur in einem bestimmten Sinne stattfindet. Für diesen Fall und auch für den Fall, wo die Störung besteht in einer Reihe zeitlich getrennter, unter sich gleich oder beliebig gerichteter Impulse der erwähnten Art, machen wir eine auch in allgemeineren Fällen noch oft erlaubte Voraussetzung, nämlich diese, dass zur Zeit $t=0$ und zur Zeit $t=T$ die Funktion $f(t)$ verschwindet. Alsdann können wir, wiederum nach Fourier, für das betrachtete Zeitintervall die Funktion folgenderweise entwickeln:

$$f(t)=\sum_{n=1}^{n=\infty} a_n \sin n\frac{\pi t}{T}, \qquad 1')$$

$$a_n=\frac{2}{T}\int_0^T f(t)\sin n\frac{\pi t}{T}\,dt, \qquad 2')$$

wodurch wir auch hier für $f(t)$ eine Summe lauter harmonischer Glieder bekommen.

3. Der physikalische Sinn der Fourierschen Zerlegung.

Können wir zu jedem der harmonischen Glieder der Fourierschen Reihe einen Strahlungsvorgang im Äther finden, welcher von einer durch das Glied charakterisierten Elementarerregung in der Quelle hinausgesandt werden würde, so sind dies für uns ebensoviele Strahlungsvorgänge, welche mit den für den Äther gültigen Grundgleichungen verträglich sind; da letztere aber — nach unserer Voraussetzung — homogen und linear sind, wird dann auch die Superposition der genannten Strahlungsvorgänge im Äther, zusammen mit der Superposition der zugehörigen Erregungen in der Quelle, mit den Grundgleichungen verträglich sein. Es wird dann aber diese Superposition den gesamten Strahlungsvorgang bilden, welcher von der durch die Summe der harmonischen Glieder charakterisierten Erregung in den Äther hinausgesandt wird.

Es ergiebt sich daraus, dass man die Weise, in der sich die gegebene Störung thatsächlich ausbreiten wird, findet, wenn man die Ausbreitung der den einzelnen Gliedern der Fourierschen Reihe entsprechenden Elementarstörungen herleitet und nachher für jeden Ort und jede Zeit die für diese Strahlungsvorgänge berechneten Elementarwerte summiert. Kurz, man darf bei der Behandlung des Strahlungsproblems annehmen, dass nicht nur bei ihrem Auftreten in der Quelle, sondern auch bei ihrer Verbreitung in den umgebenden Raum hinaus, die den Gliedern der Reihe entsprechenden Elementarstörungen eine unabhängige Existenz nebeneinander führen.

1) Will man immer weiter in den Mechanismus der Erscheinungen vordringen, so wird es wohl nicht möglich bleiben, sich auf die Betrachtung solcher Zustandsgrössen zu beschränken, welche homogenen linearen Gleichungen genügen; unsere Auffassung ist daher keineswegs als unbeschränkt gültig anzusehen. So ist es z. B. bedenklich — worauf mich Herr Professor Lorentz freundlichst aufmerksam machte —, sie anzuwenden auf die molekularen Prozesse, welche in einer bestrahlten photographischen Platte vor sich gehen. Auch selbst, wo es sich um diesen Fall handelt, werden wir aber, wenn wir uns nicht an bestimmte Hypothesen über den Mechanismus wagen wollen, nicht viel Besseres thun können, als unsere Auffassung vorläufig als erlaubt zu betrachten.

Nun wird die in Q während der Zeit 0 bis T stattfindende Störung im Allgemeinen mit vorhergehenden und folgenden Störungen zusammenhängen. Wenn T aber genügend gross ist, wird dennoch der durch die Ausbreitung der Störung an irgend einer Stelle P des Raumes veranlasste Strahlungsvorgang während eines gewissen Zeitintervalles T', das allerdings von geringerer Dauer ist als T, nicht merklich von jenen vorhergehenden und folgenden Störungen beeinflusst werden, sondern wesentlich nur von der betrachteten, während des Intervalles 0 bis T in Q stattfindenden Störung abhängen. Die Differenz der Intervalle T und T' hängt zusammen mit, und ist von der Grössenordnung von, den grössten unter den Differenzen derjenigen Lichtzeiten, welche für die einzelnen Elementarstörungen zu den verschiedenen Wegen gehören, — die durch den Apparat von der Quelle Q zum Punkte P führen.

Ist die Dauer T in den von uns zu betrachtenden Fällen immer sehr gross gegen die grössten Differenzen der Lichtzeiten im Apparate — und das wollen wir hier ein- für allemal voraussetzen —, so ist es gestattet, die Differenz zwischen T und T' gegen T zu vernachlässigen und auch den dieser Differenz entsprechenden Teil des Strahlungsvorganges in P ausser Beachtung zu lassen neben dem andern, während des erwähnten Intervalles von der Dauer T' stattfindenden Teil. Dann ist es aber für den Strahlungsvorgang in P, welcher von der von 0 bis T in Q vorgehenden Störung $f(t)$ veranlasst wird, praktisch vollkommen gleichgültig, was für eine Reihe von Störungen letzterer vorangeht oder folgt. Jener Strahlungsvorgang in P wird daher auch unter ganz beliebigen thatsächlich obliegenden Verhältnissen wesentlich derselbe sein, wie wenn, insbesondere, die betrachtete Störung $f(t)$ eine einzelne wäre in einer ununterbrochenen Folge von gleichen oder (für den Fall, dass die Entwickelung 1') benutzt wird) bis auf Zeichenwechsel gleichen Perioden. Wäre letzteres aber thatsächlich der Fall, so wäre die betrachtete Störung in Q aufzufassen als zusammengesetzt aus den schon früher erwähnten, jetzt aber als sich unbeschränkt in der Zeit, und nicht nur während des Zeitintervalles $0 - T$, fortsetzend zu denkenden harmonischen Elementarstörungen.

Den Strahlungsvorgang in P werden wir mithin für das etwa von $t = t_p$ bis $t = t_p + T$ reichende Zeitintervall, währenddessen die von $t = 0$ bis $t = T$ aus Q hinausgesandte Störung hierher anlangt, ohne merklichen Fehler kennen lernen, wenn wir zuerst die elementaren Strahlungsvorgänge berechnen, welche in demselben Zeitintervall daselbst stattfinden würden unter dem Einfluss der einzelnen harmonischen, den Gliedern der Fourierschen Reihe entsprechenden Elementarstörungen in der Quelle, die als unbeschränkt in der Zeit sich fortsetzend angenommen werden können — und wenn wir nachher sämtliche so erhaltenen Strahlungsvorgänge superponiert denken.

So gelingt es uns also, das Studium der Ausbreitung einer während eines beschränkten, aber nicht allzukurzen Zeitintervalles in der Quelle Q stattfindenden Störung von ganz beliebiger Beschaffenheit zurückzuführen auf das Studium der Ausbreitung von in ununterbrochener Zeitfolge vor sich gehenden, harmonischen Störungen. Auf letztere aber sind die bekannten Theorien der Optik über Brechung, Spiegelung, Interferenz und Beugung ohne weiteres anwendbar[1]).

---

1) Ich möchte hier sogleich auf folgendes einigen Nachdruck legen. Wenn es sich bloss handelt um eine Beugungstheorie für Impulse der von Herrn Sommerfeld behandelten Art, ist unzweifelbar der von diesem Forscher in seiner zweiten Mitteilung (d. Zeitschr. **2**, 55, 1900) eingeschlagene direkte Weg dem der Fourierschen Entwickelung weit vorzuziehen. Stellt man sich also, wie Herr Sommerfeld, die Aufgabe, zu untersuchen, ob die thatsächlich beobachteteten Beugungserscheinungen mit der Impulshypothese verträglich sind, so empfiehlt sich der direkte Weg als der beste. Wenn ich bei dem Problem der Beugung der Röntgenstrahlen zu der Fourierschen Zerlegung greife (vergl. Wied. Ann. **68**, 896, 1899 und meinen Vortrag in der Aachener Naturforscherversammlung), geschieht dies denn auch nicht gerade in der Absicht, eine Beugungstheorie des Impulses zu entwickeln, sondern vielmehr, um den Wert der beobachteten Beugungserscheinungen für die Entscheidung zwischen den über die Natur der Erregungen in der Quelle aufzustellenden Hypothesen auf sein richtiges Maass zurückzuführen. Und da erweist sich eben die Fouriersche Entwickelung, welche uns ermöglicht, die Erregungen von jeder Art, darunter auch die Sommerfeldschen Impulse, von einem gemeinsamen Gesichtspunkte aus zu betrachten, als sehr zweckmässig.

Herr Sommerfeld findet (l. c.) zu der Aufstellung einer besonderen Beugungstheorie für die Impulse einen Grund nicht nur in der nichtperiodischen Natur dieser Vorgänge, sondern auch darin, dass die Grundlagen von Kirchhoffs Behandlung des Beugungsproblems nicht unanfechtbar sind. Obgleich nun Herrn Sommerfeld unbedingt zugegeben werden muss, dass jene Grundlagen eine schwache Stelle aufweisen, welche uns verbietet, in dieser Theorie mehr zu sehen als eine Annäherung, deren Genauigkeitsgrad von vornherein nicht angegeben werden kann, so ist der darin enthaltenen Schwierigkeit, namentlich für den uns hier interessierenden Fall, nicht ein allzu grosses Gewicht beizulegen, wie ich hoffentlich seiner Zeit auseinanderzusetzen Gelegenheit finden werde. Die von Herrn Sommerfeld entwickelte Beugungstheorie ist als von Haus aus mathematisch exakt zu bezeichnen; sie ist äusserst wertvoll und verdient alle Beachtung; leider bietet auch sie bei den wirklich realisierbaren Versuchsanordnungen nicht mehr als eine Annäherung dar und ist sie ausserdem nur für den Fall der Beugung an einer Halbebene ganz ausgearbeitet. Durch letzteren Umstand bleiben wir bis auf weiteres für unser Beugungsproblem des Spaltes doch noch auf die Kirchhoffsche Behandlungsweise angewiesen, wie denn auch Herr Sommerfeld, in seiner zweiten Mitteilung, dieses Beugungsproblem des Spaltes unter Benutzung des Huygensschen Prinzips, nach Kirchhoffs Formulierung, ausarbeitet, nachdem er freilich nachgewiesen hat, dass in dem Falle der Beugung einer Strahlung von kurzer Wellenlänge an einer Halbebene die Anwendung dieses Prinzips, trotz der Bedenken, welche sich dagegen von mathematischer Seite erheben lassen, zu Resultaten führt, welche praktisch gleichwertig sind mit denjenigen seiner eigenen, mathematisch exakteren Behandlungsweise.

4. Berücksichtigung des Beobachtungsapparates.

Wenn unsere Experimente auf eine Schätzung oder Messung der Zustandsgrössen selber, in ihrem zeitlichen Verlauf, zielten, so wäre mit dem Obigen die allgemeine Diskussion unseres Problems, der Hauptsache nach, erschöpft.

Mit Ausnahme der zu exakten optischen Forschungen kaum zu verwendenden Qualitätsschätzungen mittels unseres Farbensinnes, deren wir hier nicht weiter zu gedenken brauchen, sind es aber Abschätzungen oder Messungen von Energiedichten oder -Mengen in ihrer Abhängigkeit von Ort und Zeit, in denen der Strahlungsvorgang sich unserem Experimente zugänglich zeigt.

Strenge genommen sind es nur in wenigen Fällen noch die Energiedichten und -Mengen selber, welche zur Beobachtung gelangen, da der Beobachtungsapparat nur selten für alle Arten der Strahlungsenergie gleich empfindlich ist. So ist weder die Intensität des Fluorescenzlichtes eines unter dem Einfluss der Strahlung aufleuchtenden fluorescierenden Schirmes, noch die Lichtempfindung des Auges, noch endlich die Intensität des nach der Bestrahlung auf eine photographische Platte hervorgerufenen Bildes ein einfaches Maass für die herangeführte Energiemenge, da all diese Erscheinungen unter dem Einfluss von Strahlungen, welche pro Zeiteinheit und pro Flächeneinheit gleiche Energiemengen heranführen, sehr verschieden stark ausfallen können, je nach der Qualität der Strahlung; nur bei der bolometrischen Beobachtung dürften die Verhältnisse in dieser Beziehung erheblich günstiger sein. In bei weitem den meisten Fällen aber sind die Gesetze des Zusammenhanges zwischen den Anweisungen des Beobachtungsapparates und dem Energiegehalt der Strahlung garnicht vollständig bekannt. Um aber die Diskussion weiter fortführen zu können, wollen wir vorläufig (vgl. S. 194) voraussetzen, dass unsere Beobachtungsmethode ein richtiges Maass der herangeführten Strahlungsenergie giebt, unabhängig von deren Qualität.

Dann sind es offenbar immer nur gewisse Flächenmittel der herangeführten Strahlungsenergie, welche zur Beobachtung gelangen, ein Umstand, auf den später noch Rücksicht zu nehmen ist.

Des weiteren messen oder schätzen wir dann immer entweder Zeitmittel der herangeführten Strahlungsenergie (z. B. im Falle der Beobachtung mit nacktem oder bewaffnetem Auge oder mit dem Bolometer) oder Totalmengen der während eines gewissen Zeitintervalles herangeführten Energie (z. B. im Fall des Registrierens mittels einer photographischen Platte). Bei der direkten oder indirekten Abschätzung mit dem Auge ist die Zeit, über die der zu beobachtende Mittelwert sich erstreckt, wenigstens so gross wie das grösste Zeitintervall, welches zwischen zwei optischen Erscheinungen verlaufen kann, ohne dass unser Auge dieselben als zeitlich getrennt erkennt — sagen wir von der Grössenordnung von 0.1 sec. z. B. Bei der photographischen Aufnahme ist die Expositionszeit die Dauer des Intervalles, während dessen die Totalenergie, welche zur Messung kommt, angehäuft wird. In all diesen Fällen, wie auch in dem der bolometrischen Ausmessung und in manchen anderen, kommt also nur in Betracht die Totalenergie oder das Zeitmittel der Energie, welche während eines Zeitintervalles von dem nicht unerheblichen Betrag Θ in dem betrachteten Punkte, im Mittel pro Flächeneinheit etwa, durch die Strahlung herangeführt wird. Wenn nun bei der vorauszusetzenden Beobachtungsmethode die Dauer dieses Intervalles Θ nur noch grösser ist als die des früher von uns angenommenen Intervalles T, so kann bei der Strahlung, auf die sich unsere Betrachtungen beziehen, für jeden Punkt P nur der Gesamtbetrag der während des Zeitintervalles von $t = t_P$ bis $t = t_P + T$ aus Q herangeführten Strahlungsenergie, und nicht die Art der Verteilung derselben über dieses Zeitintervall, uns interessieren.

Wir wollen für die weiteren Ausführungen ein- für allemal das Zeitintervall T kleiner als Θ annehmen; die obere Grenze, welche dadurch dem Werte von T gesetzt wird, ist ganz gut verträglich mit der schon früher (S. 190) vorausgesetzten unteren Grenze, dargestellt durch die Bedingung, dass T sehr gross sein muss gegen die grösste Differenz der Lichtzeiten in dem von der Strahlung zu durchsetzenden Apparate; ist z. B. die grösste Wegdifferenz in letzterem 1 m, so ist die derselben entsprechende Lichtzeitendifferenz nur noch $\frac{1}{3} \cdot 10^{-8}$ sec.

5. Die Intensität des zur Beobachtung gelangenden Phänomens.

Einen Ausdruck für obigen Gesamtbetrag der Energie im Punkte P während der Zeit $t = t_P$ bis $t = t_P + T$ gewinnt man folgenderweise.

Die Theorie der Fortpflanzung einer harmonischen Gleichgewichtsstörung, durch den gegebenen Apparat hindurch, ergebe für den Verlauf der x-Komponente der charakteristischen Vektorgrösse im Punkte P, soweit sie der n^{ten} Elementarstörung der Fourierschen Zerlegung entspricht,

$$\omega_{nx}\left\{A_n \sin\left[n\,\frac{2\pi\,(t-t_P)}{T} + \chi_{nx}\right] + B_n \cos\left[n\,\frac{2\pi\,(t-t_P)}{T} + \chi_{nx}\right]\right\}, \qquad 5)$$

beziehungsweise

$$\omega_{nx}\,\alpha_n \sin\left[n\,\frac{\pi\,(t-t_P)}{T} + \chi_{nx}\right], \qquad 5')$$

wo ω_{nx} und χ_{nx} Funktionen von n sind, deren Form von der Lage des Punktes P und der Zusammensetzung des von der Strahlung zu durchsetzenden Apparates abhängig ist. Wir müssen diesen Ausdruck summieren über alle ganzen positiven Werte von x um den für den zeitlichen Verlauf der x-Komponente des Zustandsvektors in P zu erhalten; die Summe haben wir aber zu quadrieren und mit einer gewissen Konstanten C zu multiplizieren, um die Grösse der Energieströmung im Punkte P in ihrem zeitlichen Verlauf zu erhalten. Multiplizieren wir dann noch mit dt, so giebt Integration zwischen den Grenzen $t = t_P$ und $t = t_P + T$ und schliesslich Summierung über die x-, y- und z-Komponente des Zustandsvektors den gewünschten Gesamtbetrag. Letzterer wird also die Summe von drei Grössen, wie:

$$E_x = \int_{t_P}^{t_P+T} C \left[\sum_{n=1}^{n=\infty} \omega_{nx} \left\{ A_n \sin\left(2n\pi \frac{t-t_P}{T} + \chi_{nx}\right) \right.\right.$$

$$\left.\left. + B_n \cos\left(2n\pi \frac{t-t_P}{T} + \chi_{nx}\right)\right\}\right]^2 dt, \tag{6}$$

beziehungsweise:

$$E_x = \int_{t_P}^{t_P+T} C \left[\sum_{n=1}^{n=\infty} \omega_{nx}\, \alpha_{xn} \times \right.$$

$$\left. \times \sin\left(n\pi \frac{t-t_P}{T} + \chi_{nx}\right)\right]^2 dt, \tag{6'}$$

welche sich offenbar vereinfachen[1]) zu

$$E_x = \frac{CT}{2} \sum_{n=1}^{n=\infty} \omega_{nx}^2 \left(A_n^2 + B_n^2\right), \tag{7}$$

beziehungsweise:

$$E_x = \frac{CT}{2} \sum_{n=1}^{n=\infty} \omega_{nx}\, \alpha_n^2 \tag{7'}$$

Setzen wir Ω_n für $\omega_{nx}^2 + \omega_{ny}^2 + \omega_{nz}^2$ und dividieren durch T, so kommt als Ausdruck für den Mittelwert der während des betrachteten Intervalles auf die Flächeneinheit in P pro Zeiteinheit herangeführten Strahlungsenergie:

$$E = \frac{C}{2} \sum_{n=1}^{n=\infty} \Omega_n \left(A_n^2 + B_n^2\right), \tag{8}$$

beziehungsweise:

$$E = \frac{C}{2} \sum_{n=1}^{n=\infty} \Omega_n\, \alpha_n^2, \tag{8'}$$

wo für die Funktion Ω_n das oben von ω_{nx} Gesagte gilt.

Die Intensität des in dem Punkte P zur direkten Beobachtung gelangenden Phänomens ist jetzt nach unserer Voraussetzung (S. 191) dem Ausdrucke 8), bezw. 8'), nachdem wir denselben eventuell mit T multipliziert haben (wenn es sich um eine photographische Aufnahme handelt) proportional zu setzen. Wo jene Voraussetzung nicht zutrifft, die Beobachtungsvorrichtung also für verschiedene Strahlengattungen verschieden empfindlich ist, wird diesem Umstande in manchen Fällen in genügender Weise dadurch Rechnung getragen werden können, dass man in den obigen Gleichungen die Konstante C ersetzt durch einen von n abhängigen Faktor γ_n, welcher als Mass der Empfindlichkeit der Vorrichtung, den einzelnen Strahlengattungen gegenüber, dienen kann. Jene frühere Voraussetzung wollen wir daher jetzt dahin erweitern, dass wir eine Beobachtungsmethode voraussetzen, bei der wenigstens das soeben Gesagte zutrifft. Es wird dann die zur Ausmessung der Strahlungsverteilung zu beobachtende Intensität B im Punkte P durch eine Gleichung

$$B = \sum_{n=1}^{n=\infty} \gamma_n\, \Omega_n \left(A_n^2 + B_n^2\right), \tag{9}$$

beziehungsweise

$$B = \sum_{n=1}^{n=\infty} \gamma_n\, \Omega_n\, \alpha_n^2, \tag{9'}$$

wo noch die rechte Seite eventuell mit T zu multiplizieren ist, dargestellt werden.

Wir wollen hier noch sogleich die Voraussetzung einführen, dass die Beobachtungsvorrichtung nicht gegen Strahlung von grosser Wellenlänge empfindlich ist, dass also γ_n für

---

1) Dass nach der Entwickelung des Quadrats auf der rechten Seite von 6) nur die Glieder mit $\sin^2$ und $\cos^2$ bei der Integration nicht verschwinden und die rechte Seite von 7) ergeben, ist evident. Dass auch in dem Quadrate auf der rechten Seite von 6') die Glieder mit dem Produkte zweier Sinus nicht berücksichtigt zu werden brauchen, obgleich sie an sich nicht bei der Integration verschwinden, lässt sich folgenderweise zeigen. Nehmen wir eines jener Glieder,

$$\int_{t_P}^{t_P+T} C\, \omega_{nx}\, \omega_{mx}\, \alpha_n\, \alpha_m \sin\left(n\pi \frac{t-t_P}{T} + \chi_{nx}\right) \times$$

$$\times \sin\left(m\pi \frac{t-t_P}{T} + \chi_{mx}\right) dt;$$

dasselbe verschwindet für gerade Werte von $n + m$ und lässt sich für ungerade Werte von $n + m$ reduzieren auf

$$C\,T\,\omega_{nx}\,\omega_{mx}\,\alpha_n\,\alpha_m \left\{ \frac{\cos\left[(n+m)\frac{1}{2}\pi + \chi_{nx} + \chi_{mx}\right]}{\pi(n+m)} \right.$$

$$\left. -(-1)^{\frac{n-m-1}{2}} \frac{\cos\left[(n-m)\frac{1}{2}\pi + \chi_{nx} - \chi_{mx}\right]}{\pi(n-m)} \right\}.$$

Es ist also dieser Ausdruck zu summieren zuerst über alle geraden Werte von m, von 2 bis ∞, und nachher über alle Werte von n, von 1 bis ∞. Berücksichtigt man nun, dass die Funktionen ω und χ für Reihen von recht vielen aufeinanderfolgenden Werten von n sich nicht merklich ändern werden, die Argumente der $\cos$ daher bei konstantem n mit jedem folgenden Werte von m einfach um π abnehmen, bezw. zunehmen, und der ganze Ausdruck also dabei bei gleichbleibendem numerischen Werte nur das Zeichen wechselt, so wird ersichtlich, dass dieser Ausdruck bei der Summation so gut wie vollständig verschwinden muss.

die kleinen Werte von n vollständig verschwindet (für die Werte von $n < 10^{11}$ z. B. — es wären dann nur die „groben" elektrischen Schwingungen ausgeschlossen).

Aus der Form der Ausdrücke 9) und 9') geht hervor, dass nicht nur, wenn es sich um die Berechnung der gewissen homogenen linearen Grundgleichungen genügenden Zustandsgrössen handelt, sondern auch noch, wo wir die zur Beobachtung gelangende Energieverteilung im Felde zu berechnen wünschen, wir ganz richtig verfahren, wenn wir für jeden Punkt uns die durch die einzelnen Glieder der Fourierschen Reihe dargestellten harmonischen Elementarstörungen als unabhängig nebeneinander vor sich gehend und unbeschränkt in der Zeit sich fortsetzend denken. Auch die Intensität des thatsächlich zu beobachtenden Phänomens ergiebt sich — immer unter der in Bezug auf die Dauer von T früher gemachten Voraussetzung — einfach als die Summe der den einzelnen Elementarstörungen entsprechenden Intensitäten[1]).

Es wird Ω mit Hilfe der gewöhnlichen, auf einfache Schwingungen bezüglichen optischen Theorien ermittelt werden müssen aus der Lage der Beobachtungsebene und des Punktes P in derselben, sowie aus der Zusammensetzung und den Konstanten des optischen Apparates, welchen die Strahlung auf ihrem Wege von Q nach P zu durchsetzen hat.

Ebensowenig wie γ_n ist also auch Ω_n von der Natur der Erregung in der Quelle abhängig, und es äussert sich diese daher nur in den dritten Faktor $A_n^2 + B_n^2$, resp. α_n^2, der Summanden.

Über die Form der Funktion Ω_n wollen wir hier keine besondere Voraussetzung machen. Nur möge die Bedeutung derselben durch folgende Bemerkung noch etwas erläutert werden.

Wenn es sich um die spektrale Zerlegung der gegebenen Strahlung handelt, so wird eine weitgehende Dispersion und Auflösung dadurch bedingt, dass erstens für jeden bestimmten Wert von n der Faktor Ω_n nur über eine kleine Strecke oder über einen schmalen Streifen in der Beobachtungsebene erhebliche Werte annimmt und dass zweitens die auf benachbarte Werte von n bezüglichen Gebiete der endlichen Ω_n-Werte in dieser Ebene verhältnismässig weit voneinander entfernt sind.

Besitzen die Koeffizienten A_n, B_n, bezw. α_n, in bestimmten Teilen der Fourierschen Reihe stark hervortretende Werte, so wird bei Anwendung eines Apparates von genügend grosser auflösender Kraft ein Banden-, zuweilen sogar ein Linienspektrum erhalten werden. Nun könnte man einen Augenblick glauben, man müsste mittels eines Spektralapparates von genügender auflösender Kraft jede beliebige Strahlung in ein Spektrum zerlegen können, welches zusammengesetzt wäre aus den den einzelnen Gliedern der Reihe entsprechenden Linien. Dass dem nicht so sein kann, geht schon daraus hervor, dass alsdann die Wellenlängen jener Linien ebenso unbestimmt sein würden, wie die Dauer des Intervalles T, welche wir ja bei gegebener Erregung noch — wenn auch innerhalb gewisser Grenzen — beliebig auswählen können. Der

---

1) Zur Erläuterung möge das Folgende dienen:

Es sei in der Quelle eine beliebige Erregung gegeben, welche nur ganz kurz, 10^{-6} sec. z. B., anhält. — Wir wählen nun ein gewisses diese Erregung einschliessendes Zeitintervall T von der Dauer 10^{-2} sec. z. B. und erhalten durch die Entwickelung 1) oder 1') eine Fouriersche Reihe. Denken wir uns jetzt die durch die einzelnen Glieder der Reihe vorgestellten Elementarstörungen als stetig sich fortsetzend und sich unabhängig voneinander in den Raum ausbreitend. Die Zusammensetzung dieser Elementarstörungen ergiebt dann einen sich mit der Periode T (bezw. $2T$) wiederholenden Strahlungsvorgang, indem die gegebene Störung ausschliesslich innerhalb des Intervalles T stattfindet; dies ist aber ganz unbedenkiich, da von Haus aus nur behauptet wird, dass während des Intervalles T Identität zwischen der gegebenen Strahlung und der Superposition jener Elementarstrahlungen — und solches noch unter gewissen Beschränkungen (vergl. § 3) — besteht. Und wenn wir, für irgend eine Stelle des Feldes und für irgend einen Zeitpunkt innerhalb jenes Intervalles, aus der Zusammensetzung der Elementarstrahlungen die Zustandsgrössen berechnen, so wird ganz richtig herauskommen, dass (praktisch) nur während eines kleinen Zeitteiles, von der Grössenordnung von 10^{-6} sec., dieselben nicht fortwährend verschwinden. — Bei jeder Elementarstrahlung würde aber zu denjenigen Zeitpunkten, wo die ebengedachten Zustandsgrössen durch die Superposition verschwänden, die Energiezufuhr durchschnittlich gleiche Werte aufweisen wie in demjenigen Zeitteile, wo thatsächlich eine Strahlung in dem betrachteten Punkte auftritt. Die Anwendung der Superposition auf die Energiemengen, nach der im Texte abgeleiteten Regel, würde also eine gleichmässige Verteilung der Energiezufuhr über das ganze Intervall T ergeben, ganz abweichend von den thatsächlichen Verhältnissen; unsere Regel sagt aber keineswegs aus, dass diese gleichmässige Verteilung über das ganze Intervall thatsächlich stattfinden sollte, sondern nur dass die wahre totale, oder auch mittlere, Energiezufuhr während des Intervalles den gleichen Wert hat, den sie haben würde, wenn die erwähnte gleichmässige Verteilung die wahre wäre.

Haben wir nun in dieser Weise die mittlere Energiezufuhr berechnet, so können wir — allerdings unter der Annahme, dass das bekannte Talbotsche Gesetz über die Summierung der Gesichtseindrücke ganz richtig ist — behaupten, dass unser Auge an der betrachteten Stelle den gleichen Eindruck bekommen wird infolge der gegebenen Störung, wie wenn es während des Zeitintervalles T eine gleichmässige Energiezufuhr von der berechneten Stärke und Beschaffenheit, ausserhalb dieses Intervalles aber überhaupt keine Energiezufuhr, empfände. Und dieses genügt — da wir die Dauer des Intervalles T genügend klein gewählt haben — vollständig zur Bestimmung des zu erwartenden Eindrucks. Hätten wir hingegen ein Intervall von der Dauer von 1 sec. z. B. gewählt, so würde die aus den Gliedern der entsprechenden Fourierschen Reihe zu berechnende gleichmässige Verteilung der Energiezufuhr über das Intervall zwar noch den richtigen Totalbetrag liefern; wir könnten dann aber nicht in obiger Weise den zu erwartenden Gesichtseindruck bestimmen.

Wird die hier vorausgesetzte Strahlung photographisch aufgenommen, so ist es wieder ganz gleichgültig, welche Dauer man für das Intervall T nimmt, wenn man dasselbe nur ganz innerhalb der thatsächlichen Expositionszeit fallen lässt — dieses allerdings nur unter der Voraussetzung, dass für die photographische Platte auch das einfache Summationsgesetz der Eindrücke zutrifft.

Grund aber, weshalb die erwähnte Auflösung nicht als möglich erwartet werden darf, ist folgender: Nennen wir Auflösungsvermögen des Apparates den Wert, welchen das Verhältnis $\frac{\lambda}{\Delta\lambda}$ zwischen der Wellenlänge zweier benachbarter Strahlungsgattungen und der Wellenlängendifferenz derselben annimmt, wenn die Strahlungsgattungen mit Hilfe des Apparates eben noch nebeneinander erkannt werden können, so wäre für die Auflösung der den einzelnen Gliedern der Fourierschen Reihe entsprechenden Strahlungen ein Auflösungsvermögen gleich n notwendig, weil die Periodenwerte zweier auffolgender Glieder der Reihe unter sich um $\frac{1}{n}$ ihres Betrages differieren. Nun ist die auflösende Kraft eines Spektralapparates bekanntlich von der Grössenordnung der Anzahl der Schwingungsperioden, welche in der grössten Lichtzeitendifferenz begriffen sind, die bei der spektralen Zerlegung eine Rolle spielt. Da aber die Periode des n^{ten} Gliedes der Reihe $\frac{T}{n}$, bezw. $\frac{2T}{n}$ ist, müsste also — sollte die erwähnte Auflösung erhalten werden können — ein Apparat benutzt werden, wo die grösste Lichtzeitendifferenz von der Grössenordnung von T wäre. Dadurch würde aber unsere oben entwickelte Theorie ihre Anwendbarkeit auf den Apparat verlieren, da eine wesentliche Grundlage jener Theorie in der Bedingung besteht, dass die betreffende Lichtzeitendifferenz sehr klein ist gegen T. Es könnte daher auch in Bezug auf die Wirkungsweise eines solchen Apparates gar kein Schluss aus jener Theorie gezogen werden.

Nach dem eben Gesagten wird durch die Anwendbarkeit unserer Theorie eine wesentliche Beschränkung des Auflösungsvermögens des benutzten Apparates mitbedingt, und zwar kann letzteres, wenn die grösste Lichtzeitendifferenz des Apparates $\frac{T}{p}$ beträgt, höchstens von der Grössenordnung von $\frac{n}{p}$ sein, wo p immer eine grosse Zahl ist. Daraus geht aber hervor, dass die Funktion Ω_n in jedem beliebigen Punkte P für mindestens p konsekutive Werte von n sehr nahe gleiche Werte besitzen muss. Da dasselbe jedenfalls auch für γ_n zutreffen wird, folgt dann, dass in den Ausdrücken 9) und 9') in jeden Summand für die Faktoren γ_n, Ω_n und $A_n^2 + B_n^2$, bezw. α_n^2, je das arithmetische Mittel von mindestens p aufeinanderfolgenden Werten dieser Faktoren eingesetzt werden kann. Deutet man jenes arithmetische Mittel durch einen Strich über dem Symbol der Grössen an, so wird man die ganzen Ausdrücke ersetzen können durch

$$B = \int_1^\infty \gamma_n \, \Omega_n \, \overline{(A_n^2 + B_n^2)} \, dn, \qquad 10)$$

beziehungsweise

$$B = \int_1^\infty \gamma_n \, \Omega_n \, \overline{\alpha_n^2} \, dn; \qquad 10')$$

darin kann dann noch, wegen unserer Voraussetzung in Bezug auf das Verschwinden von γ für die kleineren Werte von n, die untere Integrationsgrenze 1 ohne Schaden ersetzt werden durch eine, jedenfalls grosse, Zahl n_0, welche z. B. mindestens von der Grössenordnung von $10^{11}\,T$ (vgl. S. 193) angenommen werden darf.

6. Allgemeines Resultat.

Das praktische Resultat der obigen Untersuchung über die Anwendung der Fourierschen Reihenentwickelung auf die Theorie der Ausbreitung beliebiger in der Quelle Q erregter Gleichgewichtsstörungen in den umgebenden Äther können wir jetzt folgenderweise zusammenfassen.

Wollen wir in einem Punkte P des Feldes die Strahlungserscheinung zu einer gegebenen Zeit t_P berechnen, so haben wir vorerst aus der Fortpflanzungsgeschwindigkeit und dem von der Strahlung einzuschlagenden Wege den ungefähren Zeitpunkt t_0 zu berechnen, zu welchem die betreffende Strahlung aus Q ausgesandt wurde. Sodann haben wir ein Zeitintervall T zu wählen, in welchem dieser Zeitpunkt t_0 ungefähr in der Mitte liegt und dessen Dauer den grössten Wert hat, welcher noch der Bedingung genügt, dass es mit dem gegebenen Beobachtungsapparat nicht gelingt, Erscheinungen, die sich in kleineren Zeitintervallen folgen, voneinander zu trennen. Nachdem diese Wahl des Zeitintervalles T getroffen ist, nehmen wir die Fouriersche Reihenentwickelung vor für den während jenes Intervalles in Q stattfindenden und hier als gegeben vorausgesetzten Störungsvorgang und berechnen, soweit es Werte von n gilt, für die unser Beobachtungsapparat nicht unempfindlich ist, den über je $\frac{n}{p}$ aufeinanderfolgende Werte von n zu erstreckenden Mittelwert von $A_n^2 + B_n^2$, bezw. α_n^2, in seiner Abhängigkeit von n. Die Kurve, welche diese Abhängigkeit darstellt und

$$I = \overline{A_n^2 + B_n^2}, \qquad 11)$$

bezw.

$$I = \overline{\alpha_n^2}, \qquad 11')$$

zur Gleichung hat, nennen wir die Energiekurve der Quelle für den Zeitpunkt t_0.

Diese Energiekurve ist das einzig Maassgebende für den Einfluss der in Q stattfindenden Erregung auf die in P zur Zeit t_P zur Beobachtung gelangende Erscheinung.

Um diese Erscheinung jetzt mittels der Gleichung 10), bezw. 10') ganz vorhersagen zu können, müssen wir auch noch Ω_n und γ_n in ihrer Abhängigkeit von n kennen. Davon lässt sich Ω_n nach den gewöhnlichen Theorien der Optik für die Fortpflanzung einfacher Sinusschwingungen im Äther herleiten.

Der soeben hervorgehobenen Beschränkung in Bezug auf den Einfluss des Erregungsvorgangs in der Quelle steht die folgende zur Seite.

Es ist uns, abgesehen sogar von der teilweisen Unbestimmtheit des Empfindlichkeitskoeffizienten γ_n, auch bei sorgfältigster Beobachtung der Strahlungsverteilung im Felde nicht möglich, aus derselben die genaue Form der Erregung in der Quelle, d. h. die einzelnen Koeffizienten der Fourierschen Reihe, zu ermitteln; wir können höchstens auf Grund derselben eine Energiekurve konstruieren, welche die Mittelwerte aus je einer sehr grossen Anzahl von aufeinanderfolgenden Amplitudenquadraten der Glieder der Fourierschen Reihe darstellt. Die Anzahl der Amplitudenquadrate, welche in jedem Mittelwerte mitspielen, wird zwar kleiner sein, je grösser das Auflösungsvermögen des benutzten Apparates ist, bleibt aber immerhin sehr gross wegen der prinzipiellen Beschränkung, welcher dieses Vermögen notwendig unterliegt, falls die Fouriersche Entwickelung überhaupt anwendbar bleiben soll.

Die Anwendung des hier zusammengefassten Resultates unserer Betrachtungen auf das Problem der Beugung der Röntgenstrahlen wird alsbald in dieser Zeitschrift mitgeteilt werden.

Groningen, November 1900.

(Eingegangen 29. November 1900.)

VORTRÄGE UND REDEN.

Über die Beziehungen zwischen der experimentellen und der mathematischen Physik.

Von H. Poincaré.

(Schluss.)

Die Physik und der Mechanismus.

Die Mehrzahl der Theoretiker hat eine konstante Vorliebe für die Entwicklungen, die der Dynamik oder der Mechanik entlehnt sind. Die Einen wären zufrieden, wenn sie sich von allen Erscheinungen durch Bewegungen von Molekülen Rechenschaft geben könnten, die einander nach bestimmten Gesetzen anziehen. Die Andern sind anspruchsvoller; sie möchten gerne die Fernewirkungen wegschaffen; ihre Moleküle verfolgen geradlinige Bahnen, von denen sie nur durch Stösse abgelenkt werden können. Noch Andere, wie Hertz, unterdrücken auch die Kräfte, aber sie nehmen an, dass ihre Moleküle geometrischen Verbindungen unterworfen sind, analog beispielsweise denjenigen unserer Gliedmassen; sie wollen so die Dynamik auf eine Art von Kinematik zurückführen.

Kurz, alle wollen die Natur in eine gewisse Form zwängen, ausserhalb deren ihr Geist keine Befriedigung finden kann. Ist nun die Natur hierzu willig genug?

Ich habe mir diese Frage schon in dem Vorworte meines Werkes „Elektrizität und Optik" vorgelegt. In allen Fällen, wo die Prinzipien der Energie und der kleinsten Wirkung ausreichen, giebt es, wie ich gezeigt habe, nicht nur stets eine mögliche mechanische Deutung, sondern es giebt ihrer immer eine unbegrenzte Anzahl. Mit Hilfe eines wohlbekannten Satzes von Herrn Königs über die Gliedmassen könnte man z. B. zeigen, dass man alles auf unendlich viele Arten durch Verbindungen im Sinne von Hertz oder auch durch zentrale Kräfte darstellen könnte. Man würde zweifellos ebenso leicht zeigen können, dass sich stets alles durch einfache Stösse erklären lässt.

Hierzu darf man sich, wohl verstanden, nicht mit der gewöhnlichen Materie zufrieden geben, derjenigen, welche uns ins Auge fällt und deren Bewegungen wir direkt beobachten. Man wird vielmehr annehmen, dass diese gewöhnliche Materie aus Atomen zusammengesetzt ist, deren innerliche Bewegungen uns entgehen, während nur die Ortsveränderungen des Ganzen unseren Sinnen zugänglich bleibt. Oder man wird sich einige jener feinen Fluida vorstellen, welche unter dem Namen Äther oder irgend einem anderen jederzeit eine so grosse Rolle in den physikalischen Theorien gespielt haben.

Oft geht man noch weiter und betrachtet den Äther als die einzige Urmaterie oder überhaupt als die wirkliche Materie. Die Gemässigtesten betrachten die gewöhnliche Materie als verdichteten Äther, was nichts Auffälliges hat, aber Andere nehmen ihr auch diese Bedeutung und sehen in ihr nur noch geometrische Orte von ausgezeichneten Punkten des Äthers. Nach Lord Kelvin beispielsweise ist das, was wir

Materie nennen, nur der Ort der Punkte, in denen der Äther in Wirbelbewegung begriffen ist; nach Riemann ist es der Ort der Punkte, in denen der Äther dauernd zerstört wird; nach andern, neueren Autoren, Wiechert und Larmor ist sie der Ort der Punkte, wo der Äther einer ganz besonderen Art von Torsion unterworfen ist. Wenn man sich auf einen dieser Standpunkte stellen will, so frage ich mich, mit welchem Rechte man auf den Äther, unter dem Vorwande, dass er die wahre Materie ist, die mechanischen Eigenschaften übertragen will, die man an der gewöhnlichen Materie beobachtet hat, die doch nur die falsche Materie ist.

Die alten Fluida Wärme, Elektrizität etc. wurden verworfen, als man bemerkte, dass die Wärme nicht unzerstörbar ist. Aber sie wurden es auch aus einem andern Grunde. Indem man sie verstofflichte, betonte man, wenn ich so sagen soll, ihre Individualität, man grub zwischen ihnen eine Art von Abgrund. Man musste denselben ausfüllen, so bald man eine lebhaftere Empfindung von der Einheitlichkeit der Natur bekam, und so bald man die engen Beziehungen bemerkte, welche alle ihre Teile verknüpfen. Indem die alten Physiker die Fluida häuften, schufen sie nicht nur ohne Notwendigkeit neue Wesenheiten, sondern sie zerschnitten auch wirkliche Verbindungen.

Es genügt nicht, dass eine Theorie keine falschen Beziehungen behauptet, sie darf auch keine verheimlichen.

Und unser Äther, hat er in der That Wesenheit?

Es ist bekannt, woher wir zu dem Glauben an den Äther kommen. Während das Licht von einem fernen Sterne mehrere Jahre braucht, um zu uns zu gelangen, ist es nicht mehr auf dem Sterne und auch nicht auf der Erde; es muss sich aber doch irgendwo befinden und sozusagen in einem materiellen Behälter aufbewahrt werden.

Man kann denselben Gedanken unter einer mehr mathematischen, mehr abstrakten Form ausdrücken. Was wir konstatieren, sind Änderungen, die durch die materiellen Moleküle hervorgebracht werden; wir sehen z. B. dass die photographische Platte infolge von Erscheinungen beeinflusst wird, deren Schauplatz die Leuchtmasse eines Sternes mehrere Jahre zuvor gewesen ist. In der gewöhnlichen Mechanik aber hängt der Zustand des untersuchten Systems nur von seinem unmittelbar vorangegangenen Zustande ab; das System genügt also Differentialgleichungen. Wenn wir nun nicht an den Äther glaubten, so würde der Zustand des materiellen Weltalls nicht nur von dem unmittelbar vorhergehenden, sondern auch von längst vergangenen Zuständen abhängen, das System würde Gleichungen mit endlichen Differenzen genügen. Um diesen Abweichungen von den allgemeinen Gesetzen der Mechanik zu entrinnen, haben wir den Äther erfunden.

Das würde uns erst verpflichten, den interplanetaren Raum mit dem Äther auszufüllen, aber nicht, denselben auch in das Innere der materiellen Medien selbst dringen zu lassen. Das Experiment Fizeau's geht weiter. Durch die Interferenz von Strahlen, die bewegte Luft oder bewegtes Wasser durchsetzt haben, scheint es uns zwei verschiedene Medien zu zeigen, die einander durchdringen und die sich trotzdem relativ zu einander bewegen. Man glaubt den Äther geradezu mit dem Finger zu fühlen.

Man könnte indessen Experimente ersinnen, die ihn uns noch deutlicher fühlen lassen würden. Nehmen wir an, dass das Newtonsche Prinzip der Gleichheit von Wirkung und Gegenwirkung nicht mehr wahr sei, wenn man es auf die Materie allein anwendet, und dass man sich daran mache, das nachzuweisen. Die geometrische Summe aller an allen Molekülen angreifenden Kräfte würde nicht mehr Null sein. Man müsste dann, wenn man nicht die ganze Mechanik ändern wollte, den Äther einführen, damit der Wirkung, welche die Materie auszuhalten schiene, durch die Gegenwirkung der Materie auf irgend etwas das Gleichgewicht gehalten würde.

Oder auch, ich nehme an, man wisse, dass die optischen und elektrischen Erscheinungen durch die Bewegung der Erde beeinflusst werden. Man würde zu dem Schlusse geführt, dass diese Erscheinungen nicht nur die relativen Bewegungen der materiellen Körper offenbaren, sondern auch etwas, wie ihre absoluten Bewegungen. Es müsste dann irgend einen Äther geben, damit diese sogenannten absoluten Bewegungen nicht ihre Ortveränderungen in Bezug auf den leeren Raum, sondern in Bezug auf irgend etwas Konkretes wären.

Wird man jemals dahin gelangen?

Ich trage mich nicht mit dieser Hoffnung und werde gleich sagen warum; trotzdem ist sie durchaus nicht so absurd, denn Andere haben sie gehegt.

Wenn beispielsweise die Theorie von Lorentz wahr wäre, so würde sich das Newtonsche Prinzip nicht auf die Materie allein beziehen lassen, und die Abweichung wäre nahezu von der Grössenordnung, dass sie dem Experimente zugänglich wäre.

Von anderer Seite hat man viele Untersuchungen über den Einfluss der Erdbewegungen gemacht. Die Ergebnisse waren immer negative. Aber wenn man diese Experimente unternahm, so geschah es, weil man ihrer von vorneherein nicht sicher war; selbst nach den herrschenden Theorien wäre der Ausgleich nur ein an-

genäherter und man kann erwarten, genauere Methoden positive Resultate geben zu sehen.

Ich glaube allerdings, dass eine solche Erwartung vergeblich ist; aber es wäre nichts verlockender, als zu zeigen, dass ein Erfolg dieser Art uns eine ganz neue Welt eröffnen würde.

Man muss mir hier eine Abschweifung gestatten. Ich muss auseinandersetzen, warum ich, trotz Lorentz, nicht glaube, dass genauere Beobachtungen jemals etwas Anderes als relative Ortsveränderungen der materiellen Körper offenbaren könnten. Man hat Versuche gemacht, welche über die Glieder erster Ordnung hätten entscheiden lassen müssen; die Ergebnisse waren negative; konnte das ein Zufall sein? Niemand hat einen solchen angenommen; man hat eine allgemeine Erklärung gesucht und Lorentz hat sie gefunden; er hat gezeigt, dass die Glieder erster Ordnung sich wegheben mussten, aber das war nicht der Fall mit denjenigen der zweiten. Dann hat man genauere Versuche gemacht; sie waren ebenfalls negativ; das konnte noch weniger ein Spiel des Zufalls sein; eine Erklärung fehlte; aber man fand wieder eine; man findet immer eine; Hypothesen sind ein Kapital, welches vom Allerwenigsten ausgeht.

Aber damit noch nicht genug; wer weiss nicht, dass man auch hier dem Zufall noch eine grosse Rolle überlassen muss? Würde nicht auch dieses merkwürdige Zusammentreffen ein Zufall sein, welcher bewirkt, dass ein gewisser Umstand gerade rechtzeitig eintritt, um die Glieder erster Ordnung aufzuheben, und dass ein anderer, vollständig verschiedener, aber ebenso gelegener Umstand es übernimmt, diejenigen der zweiten Ordnung wegzuschaffen? Nein, man muss für beide dieselbe Erklärung suchen, und da drängt uns alles zu der Annahme, dass diese Erklärung ebenso für die Ausdrücke höherer Ordnung gilt, und dass die gegenseitige Aufhebung dieser Glieder streng und vollständig ist.

Gegenwärtiger Stand der Wissenschaft.

In der Geschichte der Physik lassen sich zweierlei entgegengesetzte Entwickelungstendenzen unterscheiden. Auf der einen Seite entdeckt man jeder Zeit neue Beziehungen zwischen den Gegenständen, welche alle Zeit getrennt bleiben zu müssen schienen; die getrennten Thatsachen hören auf, einander fremd zu sein; sie streben danach, sich zu einem mächtigen Ganzen zusammen zu ordnen. Die Wissenschaft schreitet zur Einheit und Einfachheit fort.

Auf der andern Seite enthüllt uns die Beobachtung tagtäglich neue Erscheinungen; sie müssen lange warten bis ihnen ihr Platz angewiesen wird, und zuweilen muss man, um das zu thun, eine Ecke des Gebäudes wieder zusammenreissen. Selbst bei den bekannten Erscheinungen, wo uns unsere groben Sinne Einheitlichkeit zeigten, bemerken wir von Tag zu Tag mannigfaltigere Einzelheiten; was wir für einfach hielten, wird wieder verwickelt, und die Wissenschaft scheint zur Mannigfaltigkeit und Kompliziertheit zurückzustreben.

Welcher von diesen beiden entgegengesetzten Neigungen, die abwechselnd triumphieren, wird schliesslich der Sieg zufallen? Wenn es die erstere ist, so ist die Wissenschaft möglich; aber nichts beweist das a priori, und man kann fürchten, nach vergeblichen Anstrengungen, die Natur, ihr zum Trotze, unter unser Ideal der Einheit zu zwingen, überflutet von den Strom neuer auf uns einströmender Schätze, darauf zurückkommen zu müssen, sie zu klassifizieren, unser Ideal zu verlassen und die Wissenschaft auf eine Registrierung unzähliger Rezepte zu beschränken.

Auf diese Frage können wir nicht antworten. Alles was wir thun können ist, die Wissenschaft von heute zu betrachten und sie mit derjenigen von gestern zu vergleichen. Aus einer solchen Prüfung würden wir zweifellos einige Vermutungen für die Zukunft gewinnen.

Es ist ein halbes Jahrhundert her, da hatte man die grössten Hoffnungen gefasst. Die Entdeckung der Erhaltung der Energie und ihrer Wandlungen hatte gerade die Einheitlichkeit der Kraft offenbart. Sie zeigte z. B., dass die Erscheinungen der Wellen durch molekulare Bewegungen erklärt werden konnten. Welches die Natur dieser Bewegungen sei, wusste niemand so recht, aber man zweifelte nicht, dass man es bald wissen würde. Für das Licht schien die Aufgabe vollständig gelöst. Was die Elektrizität anbetrifft, so war man da noch weniger weit. Die Elektrizität hatte sich gerade den Magnetismus angegliedert. Das war ein grosser und endgültiger Schritt nach der Einheit hin, aber wie würde sich die Elektrizität ihrerseits in die Einheit fügen, wie würde sie sich auf den weltumfassenden Mechanismus zurückführen lassen? Davon hatte man keinen Begriff. Die Möglichkeit dieser Zurückführung wurde indessen von niemand in Zweifel gezogen, man hatte den festen Glauben daran. Was schliesslich die molekularen Eigenschaften der Körper betrifft, so schien hier die Zurückführung noch viel leichter; aber jede Einzelheit blieb in einen Nebel gehüllt. Mit einem Wort, die Hoffnungen waren unermesslich und unerschütterlich, aber sie waren vergeblich.

Und was sehen wir heute?

Zunächst einen Fortschritt, einen gewaltigen Fortschritt. Die Beziehungen zwischen Elektrizität und Licht sind jetzt bekannt; die einst getrennten drei Gebiete, Licht, Elektrizität und Magnetismus bilden nunmehr ein einziges; und diese Verschmelzung scheint eine endgültige zu sein.

Diese Eroberung hat uns indessen einige Opfer gekostet. Die optischen Erscheinungen treten jetzt als besondere Fälle der elektrischen auf; solange sie isoliert da standen, war es leicht, sie durch Bewegungen zu erklären, die man bis in ihre Einzelheiten zu kennen glaubte; es ging sie eben nur allein an; jetzt aber muss sich eine Erklärung, um annehmbar zu sein, zwanglos über das ganze elektrische Gebiet erstrecken. Und das geht nicht ohne Schwierigkeiten.

Das Befriedigendste, was wir in dieser Hinsicht haben, ist die Theorie von Lorentz; sie giebt, unwidersprochen, die beste Rechenschaft von den bekannten Thatsachen, bringt in die Optik die grösste Zahl wahrer Beziehungen und ist diejenige, von der man sicherlich sehr viele Spuren in dem endgültigen Aufbau widerfinden wird. Trotzdem hat sie noch einen schwer wiegenden Mangel, auf den ich schon weiter oben hingewiesen habe. Sie widerspricht nämlich dem Newtonschen Prinzipe von der Gleichheit der Wirkung und Gegenwirkung; oder vielmehr dieses Prinzip wäre in den Augen von Lorentz nicht auf die Materie allein anzuwenden; damit es wahr wäre, müsste es von Wirkungen des Äthers auf die Materie und von der Gegenwirkung der Materie auf den Äther Rechenschaft geben. Das heisst: bis anders verfügt wird, die Dinge tragen sich wahrscheinlich nicht so zu.

Wie dem auch sei, dank Lorentz sind die Resultate Fizeaus über die Optik bewegter Körper, die Gesetze der normalen und anomalen Dispersion und der Absorption untereinander und mit anderen Eigenschaften des Äthers durch Beziehungen verknüpft, welche ohne Zweifel nicht mehr zerreissen werden. Beachten Sie die Leichtigkeit, mit der das neue Phänomen von Zeeman seinen Platz ganz bereit gefunden und selbst geholfen hat, die magnetische Drehung Faradays einzuordnen, welche sich sogar den Bemühungen Maxwells widersetzt hatte; diese Leichtigkeit beweist, dass die Theorie von Lorentz keine künstliche Lösung ist, bestimmt, dereinst zu Grunde zu gehen. Man wird sie wahrscheinlich modifizieren, man wird sie aber nicht über Bord werfen.

Aber Lorentz hatte keinen anderen Ehrgeiz, als in einem einzigen Ganzen die ganze Optik und Elektrodynamik bewegter Körper zu begreifen; er beanspruchte nicht, eine mechanische Erklärung davon zu geben. Larmor geht weiter; indem er die Theorie von Lorentz soweit sie wesentlich ist, beibehält, pfropft er ihr gleichsam die Ideen von Mac-Cullagh über die Richtung der Ätherbewegungen auf. So geistreich dieser Versuch auch ist, der Mangel der Lorentzschen Theorie bleibt bestehen und wird sogar noch schwerwiegender. Nach Lorentz wissen wir nicht, welcher Art die Ätherbewegungen sind; dank dieser Unkenntnis könnten wir ihnen solche zuschreiben, dass sie diejenigen der Materie kompensieren und die Gleichheit von Wirkung und Gegenwirkung wieder herstellen. Nach Larmor kennen wir die Bewegung des Äthers und wir können konstatieren, dass die Kompensation nicht eintritt.

Wenn Larmor nach meiner Meinung Schiffbruch gelitten hat, heisst das, dass eine mechanische Erklärung unmöglich ist? Nichts weniger als das: ich habe oben gesagt, dass eine Erscheinung, welche den zwei Prinzipien der Energie und der kleinsten Wirkung gehorcht, eine unendliche Anzahl mechanischer Deutungen zulässt; es ist das ebenso mit den optischen und den elektrischen Erscheinungen.

Aber das genügt nicht: damit eine mechanische Erklärung gut ist, muss sie einfach sein; um unter all den möglichen wählen zu können, muss man andere Gründe haben, als nur die Notwendigkeit, eine Wahl treffen zu müssen. Nun wohlan, eine Theorie, welche dieser Bedingung genügt, und mit der wir folglich etwas anfangen können, haben wir noch nicht. Müssen wir uns darüber beklagen? Das hiesse, das Ziel vergessen, nach welchem wir streben; nicht der Mechanismus ist es, sondern die Einheit ist das wahre und einzige Ziel.

Wir müssen also unseren Ehrgeiz zügeln; wir wollen nicht versuchen, eine mechanische Erklärung zu formulieren, wir wollen zufrieden sein, dass wir immer eine finden könnten, wenn wir wollten. Soweit haben wir Erfolg gehabt; das Prinzip von der Erhaltung der Energie hat immer nur Bestätigungen erfahren; ein zweites Prinzip hat sich ihm angeschlossen, dasjenige der kleinsten Wirkung in der Form, welche für die Physik brauchbar ist. Auch es ist immer bestätigt worden, wenigstens soweit die umkehrbaren Erscheinungen in Betracht kommen, die also den Gleichungen von Lagrange, d. h. den allgemeinsten Gesetzen der Mechanik, gehorchen.

Die nichtumkehrbaren Erscheinungen sind sehr viel widerspenstiger. Indessen gehorchen auch sie und suchen sich der Einheitlichkeit unterzuordnen. Das Licht, welches sie aufgehellt hat, ist vom Carnotschen Prinzipe ausgegangen. Lange Zeit hat sich die Thermodynamik mit der Untersuchung der Ausdehnung und der Zustandsänderungen der Körper begnügt. Seit einiger Zeit hat sie sich ein Herz gefasst und ihren Wirkungskreis erweitert. Wir verdanken ihr die Theorie der galvanischen Kette und diejenige der thermoelektrischen Erscheinungen. Ja, es giebt in der ganzen Physik keinen Winkel, den sie nicht untersucht hat, und sie hat sich selbst an die Chemie heran-

gemacht. Überall herrschen dieselben Gesetze, überall findet man hinter den verschiedenartigen Erscheinungen das Carnotsche Prinzip wieder, überall auch jenen so wunderbar abgeleiteten Begriff der Entropie, welcher ebenso allgemein zu sein scheint, wie derjenige der Energie, und wie dieser eine tiefere Wirklichkeit zu verhüllen scheint. Die strahlende Wärme schien sich ihm entziehen zu wollen; sie hat sich in neuester Zeit unter dieselben Gesetze beugen lassen. Von hier aus sind uns neue Analogien aufgegangen, die sich oft bis in die Einzelheiten verfolgen lassen; der Ohmsche Widerstand gleicht der Zähigkeit der Flüssigkeiten, die Hysteresis würde sich der Reibung der Flüssigkeit vergleichen lassen. In allen Fällen scheint die Reibung der Typus zu sein, durch den sich die verschiedensten nichtumkehrbaren Erscheinungen nachahmen lassen und diese Verwandtschaft ist eine wirkliche und tieferliegende.

Man hat auch eine sogenannte mechanische Erklärung dieser Erscheinungen gesucht. Sie gaben sich aber nicht dazu her. Um eine solche zu finden, muss man annehmen, dass die Nichtumkehrbarkeit nur eine scheinbare ist, dass die elementaren Erscheinungen umkehrbar sind und den bekannten Gesetzen der Dynamik gehorchen. Aber die Elementarerscheinungen sind äusserst zahlreich und verschwimmen mehr und mehr ineinander, so dass für unsere groben Sinne alles nach der Einheitlichkeit zu streben scheint, das heisst, dass scheinbar alles in demselben Sinne, ohne Hoffnung auf Wiederkehr, verläuft. Die scheinbare Nichtumkehrbarkeit ist so nur eine Wirkung des Gesetzes der grossen Zahl. Nur ein Wesen, dessen Sinne unendlich fein wären, wie der imaginäre Dämon Maxwells, könnte dieses unlösbare Knäuel entwirren und die Welt wieder rückwärts laufen lassen.

Diese Auffassung, die sich an die kinetische Theorie der Gase anschliesst, hat grosse Anstrengungen gekostet und ist doch im Grossen und Ganzen unfruchtbar gewesen; sie wird aber noch fruchtbar werden können. Es ist hier nicht der Ort zur Prüfung, ob sie nicht zu Widersprüchen führt und ob sie sich der wahren Natur der Dinge anpasst.

Indessen wollen wir doch die originellen Ideen des Herrn Gouy über die Brownsche Bewegung erwähnen. Nach diesem Forscher würde sich diese einzigartige Bewegung dem Carnotschen Prinzipe entziehen; die Teilchen, welche er in Schwung versetzt, wären kleiner als die Maschen dieses so engen Netzes, sie wären also im stande, sie zu entwirren und dadurch die Welt rückwärts laufen zu lassen. Man glaubt hier fast den Maxwellschen Dämon an der Arbeit zu sehen.

Alles in allem ordnen sich die seit Alters bekannten Erscheinungen besser und besser; neue Erscheinungen kommen und fordern ihren Platz; die meisten von ihnen, wie diejenige von Zeeman, haben ihn sogleich gefunden.

Aber wir haben noch die Kathodenstrahlen, die X-Strahlen, diejenigen des Urans und des Radiums. Eine ganze Welt, von der sich niemand etwas träumen liess. Was für unerwartete Gäste sind hier noch unterzubringen!

Niemand kann noch voraussehen, welchen Platz sie erhalten werden. Aber ich glaube nicht, dass sie die allgemeine Einheit stören; ich glaube vielmehr, dass sie dieselbe vervollständigen werden. Denn auf der einen Seite scheinen die neuen Strahlungen mit den Erscheinungen der Luminescenz in Verbindung zu stehen; sie erregen nicht nur die Fluorescenz, sondern sie entstehen zuweilen unter denselben Bedingungen wie diese.

Auch sind sie nicht ohne Verwandtschaft zu den Ursachen, welche den elektrischen Funken unter der Wirkung des ultravioletten Lichtes überschlagen lassen.

Und schliesslich glaubt man, überall bei diesen Erscheinungen wirkliche Ionen wiederzufinden, freilich mit unvergleichlich grösseren Geschwindigkeiten behaftet, wie bei den Elektrolyten.

Alles das ist noch sehr unbestimmt, aber es wird sich schon präzisieren.

Die Phosphorescenz und die Wirkung des Lichtes auf den Funken waren ein wenig isolierte und daher von den Forschern etwas vernachlässigte Gebiete. Man kann jetzt hoffen, eine neue Richtschnur zu finden, welche ihre Verbindungen mit der allgemeinen Wissenschaft erleichtern wird.

Wir werden aber nicht nur neue Phänomene entdecken, sondern in denjenigen, die wir zu kennen glaubten, eröffnen sich unvorhergesehene Ausblicke. Im freien Äther bewahren die Gesetze ihre majestätische Einfachheit; aber die sogenannte Materie scheint mehr und mehr verwickelt; alles, was man von ihr weiss, ist immer nur angenähert, und unsere Formeln erfordern in jedem Augenblick neue Glieder.

Nichtsdestoweniger sind die Begrenzungen nicht durchbrochen, die Beziehungen, die wir zwischen den Dingen erkannt hatten, die wir für einfach hielten, bestehen zwischen denselben Objekten auch noch, wenn wir ihre Kompliziertheit erkennen, und hierauf allein kommt es an. Unsere Gleichungen werden zwar immer komplizierter, indem wir sie mehr und mehr der Kompliziertheit der Natur anpassen; aber nichts hat sich in den Beziehungen geändert, welche diese Gleichungen untereinander abzuleiten gestatten. Mit einem Wort, die Gestalt dieser Gleichungen ist bestehen geblieben.

Nehmen wir als Beispiel die Gesetze der Reflexion; Fresnel hatte sie auf Grund einer einfachen und verführerischen Theorie aufgestellt, die das Experiment zu bestätigen schien. Später zeigten genauere Untersuchungen, dass diese Bestätigung nur eine angenäherte war. Sie zeigten überall Spuren von elliptischer Polarisation. Aber dank der Stütze, die uns die erste Annäherung verlieh, fand man sofort die Ursache dieser Anomalien, die in der Gegenwart einer Übergangsschicht zu suchen ist; und die Fresnelsche Theorie hatte Bestand in dem, was ihr Wesen ausmachte.

Man kommt hier um folgende Betrachtung nicht herum: alle diese Beziehungen würden unbemerkt geblieben sein, wenn man von vornherein eine Ahnung gehabt hätte von der Kompliziertheit der Dinge, die sie verbinden. Es ist nicht lange her, da wurde gesagt, wenn Tycho zehnmal genauere Instrumente gehabt hätte, so würden wir niemals weder einen Kepler, noch einen Newton, noch eine Astronomie gehabt haben. Es ist ein Unglück für eine Wissenschaft, wenn sie zu spät aufkommt, zu einer Zeit, wo die Beobachtungsmittel schon zu vollkommen sind. Das trifft heute für die physikalische Chemie zu; ihre Begründer sehen sich in ihren Berechnungen durch die dritte und vierte Dezimale behindert; glücklicherweise sind es Menschen von einem unerschütterlichen Glauben.

In dem Masse, als man die Eigenschaften der Materie kennen lernt, sieht man dort die Kontinuität vorherrschen. Seit den Arbeiten Andrews' und van der Waals' giebt man sich von der Art und Weise Rechenschaft, in der sich der Übergang von dem flüssigen in den gasförmigen Zustand vollzieht, sowie davon, dass dieser Übergang kein plötzlicher ist. Ebenso besteht keine Kluft zwischen dem flüssigen und dem festen Zustande, und es ist bemerkenswert, dass man in diesem Bande[1]) neben einer Arbeit über die Starrheit der Flüssigkeiten eine Abhandlung über die Ausströmung derselben findet.

Bei diesem Versuche verliert die Einfachheit ohne Zweifel; diese Erscheinungen wurden durch drei gerade Linien dargestellt, und man muss dieselben jetzt durch mehr oder weniger komplizierte Kurven verbinden. Dafür aber gewinnt die Einfachheit dadurch ausserordentlich. Die voneinander getrennten Gebiete gewährten dem Geiste Ruhe, aber sie befriedigten ihn nicht.

Schliesslich sind die Methoden der Physik in ein neues Gebiet eingedrungen, in das der Chemie; die physikalische Chemie ist entstanden. Sie ist noch sehr jung, aber man sieht schon, dass sie uns Erscheinungen, wie die Elektrolyse, die Osmose, die Bewegungen der Ionen unter einander zu verknüpfen gestattete.

Was können wir aus dieser kurzen Übersicht schliessen?

Die Schlussabrechnung ergiebt, dass man sich der Einheitlichkeit genähert hat; man ist nicht so schnell vorangekommen, als man es vor fünfzig Jahren hoffte, man ist nicht immer den Weg gegangen, den man voraussah; aber man hat doch schliesslich sehr viel an Boden gewonnen.

1) Vergl. Rapports du Congrès International de Physique, tome I, 478 ff.

(Aus dem Französischen übersetzt von H. Th. Simon.)

REFERATE.

Elektrotechnik.

Besorgt von Prof. Dr. Th. Des Coudres.

Der Schnellschreibtelegraph von Pollak-Virág.

Im Jahrgang 1, 484, 1900 dieser Zeitschrift ist von Herrn C. Déguisne nach einem von ihm im Physikalischen Verein zu Frankfurt a/M. gehaltenen Vortrage das dem Pollak-Virágschen System zu Grunde liegende Prinzip erläutert worden. Die zu übermittelnden Zeichen der Morseschrift wurden durch perforiertes Papier hergestellt, mittelst Schleifbürsten und Kontaktwalze die Stromstösse nach der Empfangsstation geleitet und dort durch einen vibrierenden Lichtstrahl auf photographisches Papier übertragen. Die so erzeugte Schrift bestand aus Zickzacklinien, welche den Punkten und Strichen des Morsealphabets entsprechen; es musste demnach jedes Telegramm vor der Aushändigung an den Empfänger erst noch einmal abgeschrieben werden.

Die Erfinder haben nun, wie schon am Schlusse des erwähnten Vortrags angedeutet wurde, in neuerer Zeit ihren Apparat wesentlich verbessert, indem die Depesche jetzt direkt in lateinischer Kurrentschrift geliefert wird und somit im Original an den Empfänger gegeben werden kann. Die Art und Weise

wie dies erreicht wird, soll in Nachstehendem beschrieben werden.

Unter den Buchstaben unserer gewöhnlichen lateinischen Schreibschrift befinden sich einige, welche aus einfachen, regelmässig auf und abgehenden Strichen gebildet sind, z. B. *m n h p v w*, die alle in einer gewissen Höhe über der Schriftlinie beginnen und auch dort wieder endigen. Der Buchstabe *m* ist z. B. aus je drei solchen Strichen, *v* und *p* aus je zwei solchen zusammengesetzt. Solche Buchstaben lassen sich ohne Weiteres mit dem früher beschriebenen Pollak-Virágschen Apparat fernschreiben. Denkt man sich nämlich den Papierstreifen wie in Fig. 1 angegeben ist, gelocht, und diesen Streifen zwischen die Walze und Kontaktbürsten des Absendeapparates (Fig. 1 in Nr. 44, 1. Jahrgang dies. Zeitschrift S. 484) gebracht, so wird die Empfangsstation eine Schrift liefern wie sie in Fig. 1 mit den Durchlochungen korrespondierend gezeichnet ist und woraus die Buchstaben *m v p* mit genügender Deutlichkeit zu lesen sind.

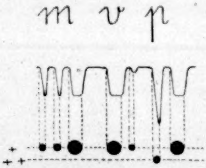

Fig. 1.

Nun bestehen aber die Buchstaben des Alphabets der lateinischen Schrift nicht alle aus solch einfachen Strichen, vielmehr sind die meisten aus Schleifen und geschlossenen Kurven gebildet, wie z. B. *f*, *o*, die sich natürlich nicht so einfach wiedergeben lassen. Denn dazu ist ausser der auf- und abgehenden Bewegung des schreibenden Lichtstrahls noch eine, dazu senkrecht gerichtete, also horizontal hin- und hergehende Bewegung notwendig. Um diese ebenfalls zu ermöglichen, haben die Erfinder den kleinen Hohlspiegel am Empfangsapparat um eine horizontale und eine vertikale Achse drehbar gemacht und wenden zu dessen Bewegung zwei Telephone nebeneinander an, wie dies die Fig. 2 zeigt.

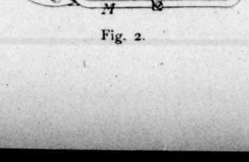

Fig. 2.

M ist ein permanenter Magnet, dessen zwei Schenkel in eiserne Federn mit rechtwinklig umgebogenen Spitzen endigen. Eine dritte, stärkere Feder *F*, ebenfalls mit einer rechtwinklig umgebogenen Spitze, ist in der Mitte des Magneten angeschraubt. Auf diesen drei Spitzen liegt ein kleines Eisenplättchen mit daran festgekitteten kleinem Hohlspiegel; dasselbe wird durch die magnetische Anziehung festgehalten.

Da nun die Spitze vom rechtsgelegenen Magnetschenkel etwa 1 mm senkrecht über der festen Spitze *F*, die andere Spitze der Feder am linken Magnetschenkel aber in gleichem Abstande in horizontaler Richtung von der festen Spitze sich befindet, so kann sich der Spiegel um seine horizontale oder um seine vertikale Achse drehen, je nachdem das rechte oder linke Telephon anspricht. Befinden sich beide Telephone gleichzeitig in Thätigkeit, so kann der reflektierte Lichtstrahl auf dem Papier jede beliebige Kurve beschreiben. Damit nun die beiden, gemeinsam auf den Reflektor wirkenden Telephonmembranen die zur Bildung eines gewissen Buchstabens nöthigen Bewegungen ausführen, werden die Magnete der Telephone durch passend gewählte Stromstösse von der Absendestation aus erregt; und zwar sind diese Stromstösse für beide Telephone gesondert, teils im positiven, teils im negativen Sinne, sie besitzen verschieden grosse Spannungen und haben eine verschiedene Zeitdauer. Zu diesem

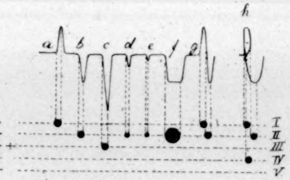

Fig. 3.

Zwecke sind die Erfinder von den früher angewendeten, zweireihig gelochten Papierstreifen abgegangen und verwenden nun fünfreihig gelochte, wie dies aus Fig. 3 zu erkennen ist. Dementsprechend besteht auch die Kontaktwalze aus fünf Schleifringen, welche durch zwischengelegte Ebonitringe voneinander isoliert sind. Auf dieser Kontaktwalze schleifen zwei Kontaktbürsten (siehe Schaltungsskizze Fig. 5), von denen die eine, mit der Fernleitung verbundene über die drei ersten Schleifringe hinweggreift. Der erste Schleifring steht mit dem negativen Pole der Batterie, der zweite mit dem positiven Pole einer gleichstarken Batterie

in Verbindung, während der dritte Schleifring auch mit dem positiven Pole, jedoch einer doppelt so starken Batterie verbunden ist. Wird daher der in Fig. 3 abgebildete Papierstreifen zwischen der Kontaktwalze und Bürste 1 durchgeschickt, so bewirken die Lochungen in Reihe I, dass negative Ströme durch das Telephon I der Empfangsstation gehen, der Lichtzeiger wird somit eine gewisse Strecke nach oben abgelenkt und würde — wenn man sich das lichtempfindliche Papier langsam nach links bewegt denkt — auf diesem eine auf und abgehende Linie wie *a* der Fig. 3 zeichnen.

Die Löcher der Reihe II bewirken, dass ein positiver Strom durch die Leitung nach dem Telephon I gelangt und der Lichtstrahl wird in diesem Falle die nach unten gerichtete Zickzackkurve *b* Fig. 3 schreiben.

Durch die Löcher der Reihe III wird ein positiver Strom von doppelter Stärke in das Telephon I gelangen, dessen Membrane sich infolgedessen auch doppelt so stark durchbiegt und den Lichtzeiger zwingt, eine doppelt soweit nach unten reichende Kurve *c* Fig. 3 zu beschreiben.

Durch grössere und kleinere Löcher im Papierstreifen, werden die Zickzacklinien breiter oder schmäler ausfallen, wie dies in Fig. 3 bei *d e f* zur Anschauung gebracht ist.

Folgen zwei Lochungen in den Reihen I und II kurz hintereinander, so wird zunächst ein negativer und unmittelbar darauf ein positiver Stromstoss ins Telephon I der Empfangsstation gelangen, was eine Zickzacklinie von doppelter Höhe zur Folge hat (Fig 3 *g*). —

Auf dem vierten und fünften Kontaktring der Walze (Fig. 5) liegt eine zweite Schleifbürste B_2. Der Schleifring 4 steht mit dem positiven, der Ring 5 mit dem negativen Pol einer besonderen Batterie in Verbindung. Während das Telephon I in der eine Schleife bildenden Hin- und Rückleitung liegt, liegt das zweite Telephon und die zweite Batterie an Erde, und ersteres ist so geschaltet, dass es Stromimpulse erst erhalten kann, nachdem diese wie zwei Ströme von gleicher Stärke und entgegengesetzter Richtung wirkungslos durch das Telephon I geflossen sind.

Es ist auch zu beachten, dass die vom Schleifring 4 kommenden Stromstösse eine grössere Intensität haben als die vom Schleifring 5.

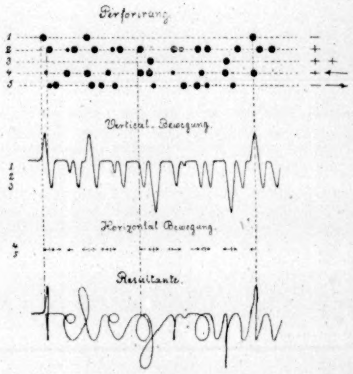

Fig. 4.

Wenn nun der in Fig. 3 gezeichnete, durchlochte Papierstreif, bei den mit *h* bezeichneten 3 Löchern unter die Kontaktbürsten kommt, so wird in dem Augenblick, in welchem der Lichtzeiger infolge des Stromstosses von Reihe I im Telephon I, seine Aufwärtsbewegung beginnt, von dem Loch in Reihe IV ein positiver, starker Stromstoss ins Telephon II gelangen, und die Einbiegung dieser Membrane lenkt den Lichtstrahl von seinem, sonst wie in Fig. 3 *g* verlaufendem Wege nach links ab. Zwar bewegt sich, nach unserer Annahme, das Papier auch nach links — allein die Bewegung des Lichtzeigers ist doch eine relativ schnellere. Auf

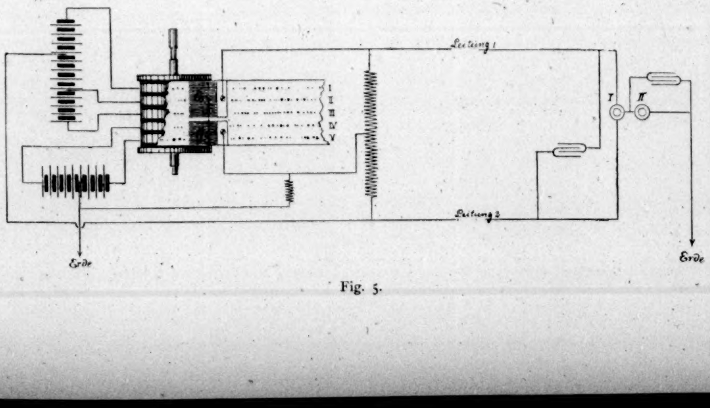

Fig. 5.

diese Weise resultiert die Schleife im Buchstaben f (Fig. 4 *h*).

Auf ganz ähnliche Weise können alle anderen Buchstaben des Alphabets hergestellt werden und ist als Beispiel in Figur 4 die Entstehung des Wortes „telegraph", aus den gleichzeitigen vertikalen und horizontalen Bewegungen des reflektierten Lichtstrahles resultierend, dargestellt.

In obiger Beschreibung wurde der Einfachheit halber angenommen, dass sich das photographische Papier langsam von rechts nach links bewege. In Wirklichkeit ist dies beim Pollak-Viragschen Apparate nicht der Fall, sondern der gleiche Effekt wird auf eine andere und zwar recht zweckmässige Weise erreicht. — Wie aus Fig. 6 zu ersehen ist, befindet sich das lichtempfindliche Papier (ein Film) aufgerollt auf einer Trommel, von welcher es durch ein Uhrwerk langsam nach aufwärts gezogen wird. Dieses Uhrwerk setzt sich allein in Gang, sobald der erste Stromstoss von der Sendestation kommt. Gleichzeitig leuchtet eine elektrische Glühlampe auf, welche in der Achse des Cylinders angebracht ist, der sich zwischen Film und Spiegel befindet. Die Glühlampe hat einen graden Kohlenfaden und dieser ist so lang als der Blechcylinder. Am Umfange dieses Blechcylinders ist ein enger Spalt eingeschnitten, der sich in Form einer Schraubenlinie, genau einmal um den Cylinder windet. Durch diesen Spalt strahlt ein Stückchen des leuchtenden Glühfadens in den Konkavspiegel und wird von diesem als Lichtpünktchen nach dem Film reflektiert. Da sich der Blechcylinder, durch das den Film abrollende Uhrwerk angetrieben, langsam um seine Achse dreht, so schreitet die den Spiegel beleuchtende Stelle des schraubenförmigen Schlitzes langsam und gleichmässig von links nach rechts (vom Spiegel aus betrachtet) fort, und das gleiche thut somit das Lichtpünktchen auf dem Film: „es schreibt eine Zeile!" Hat der Cylinder eine Umdrehung gemacht und ist somit der schreibende Lichtfleck am rechten Rande des Films angekommen, so beginnt der Cylinder eine neue Umdrehung und das Lichtfleckchen erscheint wieder am linken Rande des Films und beginnt eine neue Zeile zu schreiben, denn inzwischen ist ja der Film, infolge der Thätigkeit des Uhrwerks eine Zeilenhöhe nach oben gerückt.

Ist die Depesche zu Ende, so wird der Film durchschnitten — der noch unbelichtete Teil desselben nimmt dann an der Weiterbewegung nicht mehr teil, — während der die Depesche enthaltende Film sich, zwischen Bandführungen gehalten, über Rollen durch ein Gefäss mit Entwickelungsflüssigkeit und ein zweites mit einem Fixirbade bewegt. Durch eine entsprechende Öffnung kommt die fertige Depesche aus dem sonst lichtdicht geschlossenen Apparate heraus. —

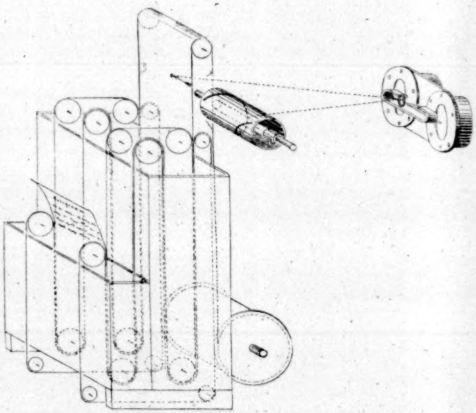

Fig. 6.

Die Durchlochung der Papierstreifen für den Sendeapparat erfolgt mittelst einer verhältnismässig einfachen Maschine derart, dass die sämtlichen, für einen Buchstaben erforderlichen Löcher auf einmal gestanzt werden.

Der Apparat lieferte auf Entfernungen von 400 Kilometer 1000 Worte pro Minute in vollkommen leserlicher Schrift.

Ernst Ruhmer.

(Eingegangen 24. November 1900.)

Personalien.

Die wissenschaftliche Gesellschaft in Göteburg ernannte die Professoren Warburg in Berlin und Lenard in Kiel zu auswärtigen Mitgliedern.

Dem ersten Chemiker und Stellvertreter des Direktors der technischen Versuchsanstalt Rothe in Berlin wurde der Titel Professor verliehen.

Für die Redaktion verantwortlich Dr. H. Th. Simon in Frankfurt a. M. — Verlag von S. Hirzel in Leipzig.
Druck von August Pries in Leipzig.